

Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte

Gwénola LE GOFF, J. NOBLET

*Institut National de la Recherche Agronomique
Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc - 35590 Saint-Gilles*

*Avec la collaboration de R. Vilboux pour la préparation des aliments,
J. Delanoe, Y. Lebreton, F. Legouëvec, A. Roger et J.F. Rouault pour les mesures sur animaux
et P. Bodinier, Sylvianne Daniel et Sandrine Hillion pour les analyses de laboratoire*

Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte

L'utilisation digestive des nutriments et de l'énergie et les teneurs en ED et en EM de 77 régimes ont été mesurées chez le porc en croissance de 60-65 kg de poids vif et chez la truie adulte non gravide. La formulation des régimes permet de prendre en compte la variabilité de composition chimique des aliments rencontrée dans les conditions pratiques. Les résultats montrent que les coefficients de digestibilité de l'énergie et des nutriments sont plus élevés pour les truies adultes que pour les porcs en croissance (85 vs 82% pour l'énergie). Il en résulte que la teneur en ED est en moyenne 0,6 MJ/kg plus élevée chez la truie adulte; mais cette différence augmente avec la teneur en parois végétales de l'aliment (en moyenne 3,3 kJ ou 10,1 kJ par g de NDF supplémentaire ou de cellulose brute supplémentaire dans l'aliment). Les résultats permettent d'établir des équations de prédiction de la teneur en énergie de l'aliment chez la truie adulte à partir des valeurs obtenues chez le porc en croissance. La validité et l'applicabilité de ces équations pour les matières premières est discutée. Des limites sont mises en évidence ou des précautions sont à prendre pour les produits riches en lipides. Leur précision pour les produits riches en parois végétales dépend de l'origine botanique de ces parois végétales; des équations par famille de produits sont alors préférables.

Comparative digestibility of dietary energy in growing pigs and adult sows

Digestive utilisation of nutrients and energy and DE and ME values of 77 diets were measured in 60-65 kg body weight growing pigs and adult sows. Diets were formulated to represent a range of chemical compositions as large as those found in most practical situations. The results show that the digestibility of energy or nutrients was higher in adult sows than in growing pigs (85 vs 82 % for energy). The difference in DE values between adult sows and growing pigs (on average, 0,6 MJ/kg DM) was not constant but increased with dietary fibre content (3,3 kJ or 10,1 kJ for each g of NDF or crude fibre increase in the diet). Results were used to establish equations for predicting energy content of diet in adult sows from values obtained in growing pigs. The accuracy and the applicability of these equations to ingredients is discussed; limits exist for ingredients which contain a fibre fraction with particular characteristics or a high level of ether extract. In such cases, specific equations for each family of products should be used.

INTRODUCTION

La digestibilité de l'énergie de l'aliment dépend de facteurs liés à l'aliment (composition chimique, traitement technologique, ...; Noblet et Perez, 1993) mais également de l'animal qui l'ingère (poids vif, sexe, stade physiologique, génotype). Ainsi, pour un aliment donné, le coefficient d'utilisation de l'énergie (CUDe) s'accroît avec l'augmentation du poids vif, l'effet le plus important étant observé lorsque des porcs en croissance sont comparés à des truies adultes. Mais l'amplitude des effets du poids vif sur le CUDe est d'autant plus important que la teneur en parois végétales est élevée (NOBLET et SHI, 1993a). En théorie, des études devraient donc être menées afin de déterminer la valeur énergétique des aliments à tous les stades de croissance du porc. Mais cette solution n'est pas envisageable en raison du coût excessif qu'elle représente. Aussi, en pratique, NOBLET (1996) suggère d'attribuer deux valeurs énergétiques aux aliments, l'une mesurée chez la truie adulte et l'autre chez le porc de 60-65 kg, ce dernier étant représentatif de l'animal en croissance sur la période 30-100 kg. Les études précédentes de digestibilité comparée chez la truie adulte et le porc en croissance ont montré que les valeurs énergétiques proposées dans les tables de valeur nutritionnelle s'appliquent plutôt au porc en croissance. Il est donc nécessaire de proposer des relations permettant d'estimer la valeur énergétique chez la truie adulte à partir de celle mesurée ou proposée chez le porc en croissance.

Les objectifs du présent travail sont :

- 1/ de comparer la digestibilité de l'énergie d'un grand nombre de régimes chez le porc en croissance de 60 à 65 kg et la truie adulte non gravide,
- 2/ d'analyser les effets de la composition chimique sur la valeur énergétique de l'aliment en interaction avec le stade physiologique de l'animal
- 3/ de calculer des équations de prédiction des teneurs en ED chez la truie adulte à partir des valeurs ED obtenues chez le porc en croissance.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Régimes expérimentaux

Les résultats présentés sont obtenus à partir de mesures réalisées sur 77 régimes, au cours de 16 essais indépendants, selon la méthode décrite par NOBLET et al. (1989). Le niveau d'incorporation des matières premières ainsi que la composition chimique moyenne des 77 régimes de l'étude sont présentés respectivement aux tableaux 1 et 2. Soixante-huit régimes ont été formulés de façon à pouvoir calculer la valeur nutritionnelle des matières premières qui les composent soit directement, soit à l'aide de la méthode par différence. Quelques résultats sur les matières premières ont déjà été rapportés (NOBLET et BOURDON, 1997; NOBLET et al., 1998; NOBLET et LE GOFF, 2000). Neuf régimes plus complexes incluant plus de 10 matières premières ont également été étudiés. Tous les régimes contiennent un complément minéral et vitaminique. Certains régimes ont également été supplémentés par des acides aminés synthétiques de façon à couvrir les besoins en acides aminés des animaux.

1.2. Dispositif expérimental

La digestibilité de chaque régime est mesurée sur 4 à 6 mâles castrés de génotype Piétrain x (Landrace x Large White) d'un poids vif de 60-65 kg au moment des mesures et sur 4 à 5 truies adultes non gravides, de race Large White ou Large White x Landrace et pesant en moyenne 230 kg. Au total, 641 collectes ont été réalisées : 329 pour les porcs en croissance et 312 pour les truies adultes. Les porcs en croissance (n=329) ne sont utilisés qu'une seule fois, alors que les truies (n=52) ont reçu successivement plusieurs régimes. Le même niveau d'alimentation est appliqué pour tous les régimes au sein de chaque stade physiologique : 2,4 kg par jour pour les truies adultes et 2,1 à 2,3 kg par jour pendant la collecte pour les porcs en croissance. La plupart des régimes (n=69) sont distribués sous forme de farine (après broyage sur grille de 2,5 mm) humidifiée en deux repas par jour et l'eau est allouée à volonté; les autres (n=8) ont été présentés aux animaux après granulation.

1.3. Mesures sur animaux

Les animaux sont adaptés à la cage et au régime expérimental pendant au moins 10 jours. Ensuite, les fèces et les urines sont recueillies quotidiennement pendant 8 à 11 jours, conservées à +4°C et pesées et homogénéisées à la fin de la période expérimentale. Chez les truies, les urines sont collectées à l'aide d'une sonde urinaire. Deux échantillons de fèces sont constitués, l'un servant à la détermination de la matière sèche excrétée et l'autre étant lyophilisé pour les analyses de laboratoire. La quantité d'aliment ingérée pendant la période de collecte est mesurée quotidiennement. Des échantillons de chaque régime sont prélevés chaque jour et cumulés sur la période expérimentale (repas fictifs) pour la détermination de la teneur en matière sèche et pour les analyses de laboratoire. Les animaux sont pesés au début et à la fin de la période de collecte des excréta.

1.4. Analyses de laboratoires

Les analyses de laboratoire portent sur les régimes, d'une part, et sur les fèces et les urines récoltées sur chaque porc, d'autre part. Les teneurs en matière sèche (MS), matières minérales, azote et matières grasses sont déterminées selon les méthodes AOAC (1990). La détermination de l'énergie brute est mesurée au moyen d'un calorimètre adiabatique (IKA). Le dosage de la cellulose brute de Weende et la détermination des constituants pariétaux selon les méthodes de VAN SOEST (1967), ont été effectués à l'aide d'un appareil FIBERTEC semi-automatique pour les échantillons obtenus lors de la première moitié de l'étude puis à l'aide d'un appareil FIBERSAC. Sur chaque échantillon de fèces, seules les teneurs en matières minérales, énergie brute et azote sont déterminées; les autres analyses sont réalisées sur un échantillon moyen, pour chaque régime, à chaque stade physiologique. Les urines ont été analysées pour leur teneur en azote et en énergie brute. Sur les aliments, outre les dosages précédents, les teneurs en amidon, en sucres et en parois insolubles dans l'eau (CARRÉ et BRILLOUET, 1986) sont déterminées.

Tableau 1 - Niveau d'incorporation des matières premières dans les régimes (n=77)

N°	Matière première (1)	Nombre de régimes	Niveau d'incorporation, %	
			Moyenne	Maximum
1	Avoine (n=2)	4	15,8	25,0
2	Blé (n=3)	60	61,2	96,0
3	Co-produits du blé (n=5)	15	21,3	40,0
4	Co-produits du maïs (2) (n=3)	5	25,2	30,0
5	Co-produits du maïs (3) (n=4)	5	30,0	30,0
6	Coques de cacao (n=1)	1	20,0	20,0
7	Coques de colza (n=1)	1	15,0	15,0
8	Coques de lupin (n=1)			
9	Coques de soja (n=1)	5	11,2	20,0
10	Coques de tournesol (n=1)	1	15,0	15,0
11	Corn gluten feed (n=1)	6	10,6	20,0
12	Farine de fêtuque (n=1)	1	20,0	20,0
13	Farine de luzerne (n=1)	1	20,0	20,0
14	Farine de poisson	6	1,8	2,0
15	Féverole (n=1)	1	30,0	30,0
16	Graine de lupin (n=2)	2	25,0	25,0
17	Graine de soja (n=2)	2	25,0	25,0
18	Graine de tournesol (n=1)	1	20,0	20,0
19	Graisse animale	3	5,0	7,5
20	Huile végétale (n=3)	6	5,3	6,0
21	Maïs (n=2)	12	51,6	96,4
22	Mélasses de canne	5	3,4	4,0
23	Orge (n=2)	14	41,8	96,8
24	Pois (n=2)	8	13,0	30,0
25	Pulpes de betterave (n=1)	5	17,7	26,0
26	Son de riz (n=2)	2	25,0	25,0
27	Tourteau de colza (n=2)	2	20,0	20,0
28	Tourteau de germes de maïs (n=1)	2	25,0	30,0
29	Tourteau de soja (n=6)	53	12,4	25,0
30	Tourteau de tournesol (n=2)	9	11,3	20,0
31	Triticale (n=1)	5	74,5	96,0

(1) Entre parenthèses, nombre de produits dont la valeur énergétique a été mesurée sur porc en croissance et sur truie adulte

(2) Corex®

(3) Corex® + amidon de maïs et/ou fractions solubles de l'amidonnerie du maïs

Tableau 2 - Composition chimique des régimes (n=77)

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Composition chimique mesurée, g/kg M.S.				
Matières minérales	59	9	45	84
Matières azotées	167	27	101	214
Matières grasses	30	23	10	108
Cellulose brute	51	26	19	181
Extractif non azoté	692	51	553	800
NDF	179	52	112	394
ADF	60	29	24	212
ADL	12	9	3	54
Amidon	519	82	221	686
Sucres	35	10	19	68
PAR	176	56	102	419
Fibres (1)	189	60	99	450
EB, MJ/kg de matière sèche	18,20	0,52	17,55	19,89

(1) Fibres = 100-(matières minérales + matières azotées + matières grasses + amidon + sucres)

1.5. Calculs et analyses statistique

Les coefficients d'utilisation digestive de la matière organique, des nutriments et de l'énergie et les teneurs en ED sont calculés selon les méthodes décrites précédemment (NOBLET et al. 1989). La valeur EM est calculée par différence entre la valeur ED et la quantité d'énergie perdue dans les urines. Nous avons également quantifié l'utilisation digestive du critère " fibres ", celui-ci correspondant à la différence entre la matière organique et la somme des matières azotées, des matières grasses, de l'amidon et des sucres. Pour les calculs, l'amidon et les sucres sont considérés comme digestibles à 100%. Les résultats obtenus ont été traités par une analyse de variance prenant en compte les effets de la nature du régime (n=77), du stade physiologique (n=2) et de l'interaction entre ces deux facteurs principaux. Sur les données moyennes par régime, une analyse de covariance a été

effectuée avec les caractéristiques analytiques des aliments comme covariables, le stade physiologique de l'animal comme effet fixe ainsi que les interactions entre les caractéristiques analytiques et le stade physiologique. Des équations de régression (méthode step-wise) ont été également calculées. Le logiciel SAS (1990) a été utilisé pour ces calculs.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Effet du stade physiologique sur l'utilisation de l'énergie chez le porc

Conformément aux données de la bibliographie, l'analyse statistique indique que les coefficients d'utilisation digestive des nutriments et de l'énergie sont significativement plus élevés chez la truie que chez le porc en croissance (tableau 3). Ainsi, la valeur ED des régimes mesurée chez le porc en

Tableau 3 - Utilisation digestive comparée des 77 régimes chez le porc en croissance (C) et la truie adulte (T)

	Moyenne		Croissance, % truie		ETR (1)	Effets (1)
	C	T	Moyenne	Étendue		
Poids vif, kg	61	234			13	-
Matière sèche ingérée, g/j	1854	2104			49	R**,S**,RS**
Coefficients d'utilisation digestive, %						
Matière Sèche	82,5	84,7	97,4	89-100	1,1	R**,S**,RS**
Matière Organique	84,8	87,6	96,7	89-100	1,0	R**,S**,RS**
Matières Azotées	80,3	84,9	94,5	85-99	2,0	R**,S**,RS**
Matières Grasses	31,6	37,1	80,8	-	-	-
Cellulose Brute	37,6	51,7	73,2	21-99	-	-
Extractif non azoté	90,8	92,3	98,3	90-100	-	-
NDF	56,3	64,4	87,9	61-105	-	-
ADF	37,8	48,9	79,3	54-117	-	-
Fibres (2)	50,9	59,5	86,0	63-102	-	-
Énergie	82,1	85,2	96,3	87-100	1,1	R**,S**,RS**
Éléments digestibles, g/kg de matière sèche						
Matière Organique	798	824	96,7	89-100	9	R**,S**,RS**
Matières Azotées	134	142	94,5	85-99	3	R**,S**,RS**
Matières Grasses	14	15	80,8	-	-	-
Cellulose Brute	19	26	73,2	21-99	-	-
Extractif non azoté	630	640	98,3	90-100	-	-
NDF	99	115	87,9	61-105	-	-
ADF	23	29	79,3	54-117	-	-
Fibres (2)	96	113	86,0	63-102	-	-
EM/ED, %	96,5	94,8	101,8	101-103	0,5	R**,S**,RS**
Valeurs énergétiques, MJ/kg MS						
ED	14,94	15,51	96,3	87-100	0,21	R**,S**,RS**
EM	14,43	14,71	98,1	89-101	0,21	R**,S**,RS**
Bilan azoté, g/j						
Ingéré	49,7	56,3			1,3	R**,S**,RS**
Retenu	20,1	7,0			4,7	R**,S**,RS**

(1) A partir de l'analyse de variance sur 329 et 312 données pour respectivement les porcs en croissance et les truies adultes. L'analyse inclut l'effet du stade physiologique (S; n=2), de la nature du régime (R; n=77) et de l'interaction entre le stade physiologique et la nature du régime (RS); ETR pour écart-type résiduel; niveaux de signification: **: p<0,01; *: p<0,05. L'analyse de variance ne peut pas être effectuée sur les coefficients d'utilisation digestive des matières grasses, de la cellulose brute, et des NDF et ADF, les analyses de laboratoire ayant été réalisées sur des échantillons de fèces moyennés par régime

(2) Voir tableau 2

croissance représente en moyenne 96% de la valeur ED mesurée chez la truie. Mais l'amplitude de l'écart entre les deux groupes d'animaux est plus faible (3 points pour le CUDe, par exemple) que ceux rapportés par FERNANDEZ et al. (1986) et NOBLET et SHI (1993a) (6 et 9 points, respectivement). Outre l'effet de la nature et de la composition des régimes (voir ci dessous), le moindre écart observé dans la présente étude que dans celle de NOBLET et SHI (1993a) est à relier, d'une part, au poids vif plus élevé des porcs en croissance (61 vs 43 kg) et, d'autre part, au niveau d'alimentation plus élevé chez les truies. En fait, les différences observées par NOBLET et SHI (1993a) surestimaient l'écart que l'on rencontrera dans les conditions pratiques.

Contrairement à ce qui est observé pour les coefficients d'utilisation digestive, le rapport EM/ED est significativement plus faible chez la truie (tableau 3) lorsque les animaux reçoivent les mêmes régimes. Cette différence provient de pertes d'énergie dans les urines plus importantes chez les truies. Le résultat est à relier aux faibles quantités d'azote fixées chez la truie adulte (7 vs 20 g/j pour les porcs en croissance) et, par voie de conséquence, aux fortes quantités excrétées dans les urines. En fait, le rapport EM/ED est artificiellement bas chez les truies de notre étude puisque la teneur en matières azotées des régimes est élevée, relativement à leurs besoins. Ce résultat ne peut donc être extrapolé à la situation de la truie en gestation pour laquelle le rapport EM/ED sera proche de celui mesuré chez les porcs en croissance. En fait, la quantité d'énergie perdue dans les urines chez la truie varie en fonction de la quantité d'azote contenue dans les urines selon les équations suivantes :

- Énergie de l'urine, kJ/j = $437 - 31,1 \times N \text{ urines, g/j}$ (1)

- Énergie de l'urine, kJ/kg de MS ingérée = $216 - 30,7 \times N \text{ urines, g/kg de MS ingérée}$ (2)

L'équation correspondant à l'équation 1 pour le porc en croissance est :

- Énergie de l'urine, kJ/j = $345 - 31,1 \times N \text{ urines, g/j}$ (3)

Dans ce cas, la teneur en EM des aliments pour la truie peut être calculée comme la différence entre la teneur en ED et la teneur en énergie des urines déterminée à l'aide des équations 1 et 2. En pratique, la teneur en EM d'un aliment est variable chez la truie adulte puisqu'elle dépend à la fois de la teneur en azote de l'aliment et de la capacité de l'animal à utiliser l'azote. Il faut également noter que les pertes d'énergie sous forme de méthane n'ont pas été mesurées dans la présente étude. Or (NOBLET et al., 1993) ont montré qu'elles sont plus importantes chez la truie que chez le porc en croissance avec comme conséquence un accroissement de l'écart de rapport EM/ED entre les deux stades physiologiques. Elles sont également d'autant plus élevées que l'aliment est riche en parois végétales (NOBLET et SHI, 1993a ; RAMONET et al., 2000). A l'avenir, la détermination de la teneur en énergie métabolisable des aliments devra donc tenir compte de la mesure ou de la prédiction des pertes d'énergie sous forme de méthane. En définitive, l'écart de teneur en EM moyen des régimes (incluant les pertes de méthane) entre les deux stades physiologiques sera donc plus faible que celui estimé sur la base de la teneur en ED. Compte tenu de ces réserves sur l'estimation de l'EM chez la truie adulte, seuls les résultats de teneurs en ED des aliments seront rapportés et commentés ci dessous.

2.2. Effet de la composition chimique de l'aliment sur l'utilisation digestive des nutriments et de l'énergie en interaction avec le stade physiologique de l'animal

Même si nous ne l'avons pas mesurée, on peut supposer que la digestibilité de l'amidon (et des sucres solubles) est totale aussi bien chez le porc en croissance que chez la truie adulte. D'après nos résultats, la digestibilité des matières grasses, en moyenne faible pour les régimes de l'étude (tableau 3), n'est pas affectée par le stade physiologique de l'animal (équation 4, tableau 4). Ceci s'explique par le fait que les matières grasses sont essentiellement digérées dans l'intestin grêle (NOBLET et SHI, 1993b), la quantité de matières grasses digestibles étant alors liée positivement et linéairement à la teneur en matières grasses du régime. La digestibilité apparente des matières azotées est, par contre, significativement plus élevée chez la truie (tableau 3). Toutefois, comme l'indiquent les équations du tableau 4 (p 216), tant les teneurs en matières azotées digestibles qu'en matières grasses digestibles sont dépendantes de la teneur en parois végétales de l'aliment. En d'autres termes, l'introduction de parois végétales dans le régime entraîne une augmentation de l'excrétion fécale d'azote et de matières grasses due, d'une part, à une augmentation de la masse bactérienne dans le gros intestin (DIERICK et al., 1990) et, d'autre part, à des pertes accrues de matières azotées et de matières grasses endogènes en relation avec des pertes de cellules épithéliales et/ou des sécrétions de mucus plus importantes. Il résulte de l'utilisation digestive des différents nutriments que la digestibilité de la matière organique est affectée négativement par la teneur en parois végétales et en matières minérales de l'aliment ou qu'inversement les teneurs en matière organique indigestible augmentent avec la teneur en parois végétales et en matières minérales (équations 7 à 10, tableau 4, p 216); dans les deux situations, les coefficients diffèrent significativement entre la truie et le porc en croissance. Enfin, l'existence d'une interaction significative entre la nature du régime et le stade physiologique de l'animal sur la digestibilité des matières azotées et de la matière organique (tableau 3) est principalement associée à un effet négatif différent des parois végétales chez l'animal selon son stade physiologique. En effet, les données du tableau 3 indiquent que l'utilisation digestive des parois végétales, en moyenne plus faible que pour les autres nutriments, est plus élevée chez la truie. De plus, la relation entre le NDF digestible et le NDF de l'aliment montre que les deux quantités sont proportionnelles chez la truie (équation 12, tableau 4, p 216) et reliées linéairement chez le porc en croissance, avec une ordonnée à l'origine positive (équation 11, tableau 4, p 216). Ceci suggérerait, à ce stade, une meilleure utilisation digestive des parois végétales lorsqu'elles se trouvent à un faible niveau dans l'aliment.

En accord avec les données de la bibliographie et compte tenu des différences d'utilisation digestive entre nutriments, l'utilisation digestive de l'énergie décroît lorsque la teneur en parois végétales de l'aliment augmente (équations 13 et 14,

Tableau 4 - Effet de la composition chimique du régime (1) sur l'utilisation digestive de l'aliment en interaction avec le stade physiologique de l'animal (2)
(porc en croissance : C ; truie adulte T; n=77 régimes)

N°	Stade	Équation	R ²	ETR
4 (3)	C/T	$MGD = 0,82 \times MG - 7 - 0,021 \times NDF$	0,97	3,3
5	C	$MAD = 17 + 0,94 \times MAT - 0,110 \times NDF - 0,36 \times MM$	0,97	3,9
6	T	$MAD = 6 + 1,00 \times MAT - 0,069 \times NDF - 0,30 \times MM$	0,98	3,4
7	C	$MOD = 1035 - 0,72 \times NDF - 1,84 \times MM$	0,91	15,4
8	T	$MOD = 1025 - 0,45 \times NDF - 2,03 \times MM$	0,83	17,3
9	C	$MOI = 0,71 \times NDF - 35 + 0,84 \times MM$	0,88	15,4
10	T	$MOI = 0,45 \times NDF - 25 + 1,03 \times MM$	0,75	17,3
11	C	$NDFD = 19 + 0,44 \times NDF$	0,70	15,0
12	T	$NDFD = 0,64 \times NDF$	0,77	17,5
13	C	$CUDe = 98,3 - 0,090 \times NDF$	0,85	2,0
14	T	$CUDe = 96,7 - 0,064 \times NDF$	0,70	2,2

(1) MG : matières grasses ; MAT : matières azotées totales ; NDF : Neutral Detergent Fiber ; MM : matières minérales ; les valeurs sont exprimées en g/kg de matière sèche

(2) MGD, MAD, MOD, et NDFD : matières grasses digestibles, matières azotées digestibles, matière organique digestible et NDF digestible, respectivement. MOI (pour matière organique indigestible) correspond à la différence entre la matière organique et la MOD. Les valeurs sont exprimées en g/kg de matière sèche ; CUDe : coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, en % ; ETR pour écart-type résiduel

(3) Les coefficients de l'équation ne sont pas affectés par le stade physiologique

tableau 4). Conformément aux résultats de NOBLET et PÉREZ (1993) et de NOBLET et al. (1993), le CUDe diminue d'environ 1% par point de NDF supplémentaire dans le régime chez le porc en croissance, ce qui suggère que les parois végétales ont un rôle comparable à celui d'un diluant, même si leur digestibilité est de 50% approximativement. Cette situation s'explique notamment par l'effet des parois végétales sur l'utilisation digestive apparente des matières azotées et des matières grasses (tableau 4; NOBLET et PÉREZ, 1993). Toutefois, l'effet dépressif du NDF sur le CUDe du régime est moins important chez la truie adulte (moins 0,6%). L'utilisation digestive plus élevée de l'énergie chez la truie s'explique donc essentiellement par une capacité supérieure à utiliser l'énergie des parois végétales (tableau 3) avec, comme conséquence, un écart entre la truie et le porc en croissance qui sera d'autant plus élevé que l'aliment est riche en parois végétales. Cette mise en évidence d'une interaction entre le stade physiologique et la nature du régime sur la digestibilité de l'énergie est conforme aux conclusions de NOBLET et al. (1993) dans une étude sur un nombre plus restreint de régimes. Ce résultat est également confirmé par le fait que la différence de teneur en ED entre la truie et le porc en croissance est uniquement dépendante des teneurs en parois végétales de l'aliment. L'analyse de nos données montre que l'écart s'accroît de 3,3, de 8,6, de 10,1 ou de 3,0 kJ pour chaque g de NDF, d'ADF, de cellulose brute ou de " fibres " supplémentaire dans l'aliment. De la même façon, si l'on relie la teneur en ED des régimes à la somme des constituants chimiques, l'analyse de covariance montre que seule la contribution de la fraction parois végétales de la matière organique diffère entre les 2 stades physiologiques (équations 16 et 17; tableau 5). Ceci est enfin confirmé lors de la comparaison des coefficients des équations 16 et 17 avec ceux de l'équation 15 qui indiquent que la teneur en énergie digestible des matières azotées, de l'amidon et du résidu est équivalente à leur teneur en énergie brute; la teneur en énergie digestible des matières grasses représente 82 % de leur teneur en énergie brute, résultat qui

est conforme au coefficient de digestibilité vrai des matières grasses qui peut être calculé à l'aide de l'équation 4 (tableau 4). Quant aux coefficients du NDF, ils confirment la faible contribution des parois végétales à la fourniture d'énergie digestible, celle-ci étant deux fois plus élevée en moyenne chez la truie que chez le porc en croissance.

2.3. Prédiction de la valeur énergétique de l'aliment chez le porc en croissance et la truie adulte

Il résulte des observations précédentes qu'une même équation de prédiction de la teneur en ED à partir de la composition chimique de l'aliment ne peut être appliquée au porc en croissance et à la truie adulte. Une première solution consiste alors à déterminer la valeur énergétique de l'aliment à partir des teneurs en éléments digestibles (équations 18 ou 19, tableau 5). Cependant, les coefficients de digestibilité de chaque nutriment ne sont pas toujours disponibles dans les tables. L'utilisation des équations de prédiction de la valeur ED pour chaque stade physiologique à partir de la composition chimique de l'aliment permet de s'affranchir de ce problème (équations 20 et 21, tableau 5). Une autre solution consisterait à prédire la valeur ED des aliments à partir d'estimateurs communs aux deux stades physiologiques. Dans ce contexte, nous avons mis en évidence ci dessus que la digestibilité des matières grasses ainsi que l'effet négatif des matières minérales sur la digestibilité sont relativement comparables chez le porc en croissance et la truie adulte. On peut également admettre que l'amidon et les sucres sont digérés totalement aux deux stades. En conséquence, les glucides indigestibles (définis comme la somme de l'extractif non azoté et de la cellulose brute à laquelle ont été soustraits l'extractif non azoté digestible ainsi que la cellulose brute digestible et constitué essentiellement de parois végétales) vont représenter un diluant de l'énergie digestible du régime, tant chez le porc en croissance que chez la truie adulte. Il

Tableau 5 - Prédiction des teneurs en énergie brute (EB) et en énergie digestible (MJ/kg de matière sèche) des régimes (n=77) chez le porc en croissance (C) et la truie adulte (T) (1)

N°	Stade	Équation	R ²	ETR
15	-	$EB = 0,0227 \times MAT + 0,0388 \times MG + 0,0190 \times NDF + 0,0174 \times Amidon + 0,0177 \times Res$	0,94	0,12
16	C	$ED = 0,0225 \times MAT + 0,0317 \times MG + 0,0032 \times NDF + 0,0172 \times Amidon + 0,0163 \times Res$	0,86	0,35
17	T	$ED = 0,0225 \times MAT + 0,0317 \times MG + 0,0064 \times NDF + 0,0172 \times Amidon + 0,0163 \times Res$	0,86	0,35
18	C/T	$ED = 0,0229 \times MAD + 0,0379 \times MGD + 0,0181 \times NDFD + 0,0173 \times Amidon + 0,0176 \times Resd$	0,98	0,12
19	C/T	$ED = 0,0229 \times MAD + 0,0385 \times MGD + 0,0187 \times CBD + 0,0174 \times Amidon + 0,0175 \times Resd$	0,98	0,12
20	C	$ED = 17,69 - 0,0341 \times MM + 0,0071 \times MAT + 0,0146 \times MG - 0,0132 \times NDF$	0,90	0,31
21	T	$ED = 17,26 - 0,0401 \times MM + 0,0093 \times MAT + 0,0162 \times MG - 0,0080 \times NDF$	0,85	0,32

(1) Voir notes du tableau 4.

CBD : cellulose brute digestible. Res (pour résidu) est calculé comme la différence entre la matière organique et la somme des autres constituants considérés dans l'équation. Resd (pour résidu digestible) correspond à la différence entre la matière organique digestible et la somme des autres constituants considérés dans l'équation. Les équations 16 et 17 sont issues d'une analyse de covariance pour laquelle le seul le coefficient du NDF diffère significativement entre les 2 stades physiologiques

apparaissait alors logique d'établir une équation de la valeur ED à partir des critères matières grasses, matières minérales et glucides indigestibles commune au porc en croissance et à la truie adulte. L'équation dans laquelle la teneur en ED des aliments serait prédite à partir des teneurs en matières minérales, matières grasses et glucides indigestibles est faiblement mais significativement affectée par le stade physiologique. Cette approche ne peut donc être proposée.

Selon des résultats antérieurs (NOBLET et BOURDON, 1997; NOBLET et al., 1998; NOBLET et LE GOFF, 2000) et des données non publiées, les valeurs des tables de valeur nutritionnelle sont plutôt applicables à la situation du porc en croissance et sous-estiment donc l'utilisation digestive réelle chez le porc adulte. La solution est alors de prédire la valeur énergétique de l'aliment chez la truie à partir des valeurs obtenues chez le porc en croissance. Deux modèles de prédiction peuvent être proposés. D'abord, la teneur en ED de l'aliment chez la truie adulte peut être prédite uniquement à partir de la teneur en ED obtenue chez le porc en croissance.

Mais, dans ce cas, il ne faut pas considérer dans l'établissement de la relation les régimes enrichis en matières grasses puisqu'elles sont utilisées de la même façon chez le porc en croissance et chez la truie adulte; la teneur en ED est alors un indicateur de la nature des glucides (équation 22). Ensuite, la teneur en ED chez la truie peut prendre en compte non seulement la teneur en ED obtenue chez le porc en croissance mais également un critère de composition chimique de l'aliment, en l'occurrence la teneur en parois végétales (équations 23 à 26, tableau 5). La précision des équations qui prennent en compte le critère NDF ou " fibres " (équations 23 et 26) est équivalente à celle de l'équation 22. Il est à remarquer que les coefficients des équations 23 à 26 ne sont pas modifiés si l'on considère ou non les aliments à teneur élevée en matières grasses.

Compte tenu du faible ETR des équations du tableau 6, il est clair qu'elles peuvent prédire les valeurs ED_t à partir de ED_c avec une précision satisfaisante pour des régimes (ou mélanges de matières premières). La question principale concerne maintenant leur applicabilité aux matières pre-

Tableau 6 - Relation entre teneurs en énergie digestible chez la truie adulte (ED_t) et teneur en énergie chez le porc en croissance (ED_c) pour les régimes (1) (2) (MJ et g par kg de matière sèche)

N°	Équation	R ²	ETR
22	$ED_t = 4,37 + 0,742 \times ED_c$	0,89	0,24
23	$ED_t = 0,984 \times ED_c + 0,0045 \times NDF$	0,90	0,24
24	$ED_t = 1,012 \times ED_c + 0,0060 \times ADF$	0,85	0,29
25	$ED_t = 1,014 \times ED_c + 0,0066 \times CB$	0,82	0,30
26	$ED_t = 0,991 \times ED_c + 0,0036 \times fibres$	0,87	0,25

(1) Voir notes du tableau 4.

CB : cellulose brute ; ADF : Acid Detergent Fiber. Le critère " fibres " est calculé comme la différence entre la matière organique et la somme des matières azotées, des matières grasses, de l'amidon et des sucres

(2) Équations établies sur 67 régimes; les régimes ayant une teneur en matières grasses supérieure à 60 g/kg de matière sèche n'ont pas été pris en compte (voir texte)

mières. Les résultats rapportés dans les figures 1 et 2 montrent que la prédiction est globalement satisfaisante pour les matières premières. Toutefois, quelques écarts sont à noter. Schématiquement, les différences importantes résultent de

deux situations :

1/ teneur en ED faible chez le porc en croissance et peu améliorée chez la truie adulte (cas des coques de colza ou de tournesol)

Figure 1 - Relation entre la valeur ED estimée des matières premières pour les truies adultes (à partir de l'équation 22 du tableau 6, p 217) et la valeur ED mesurée chez les truies (résultats non publiés ; voir le tableau 1, p 213 pour l'identification des matières premières)

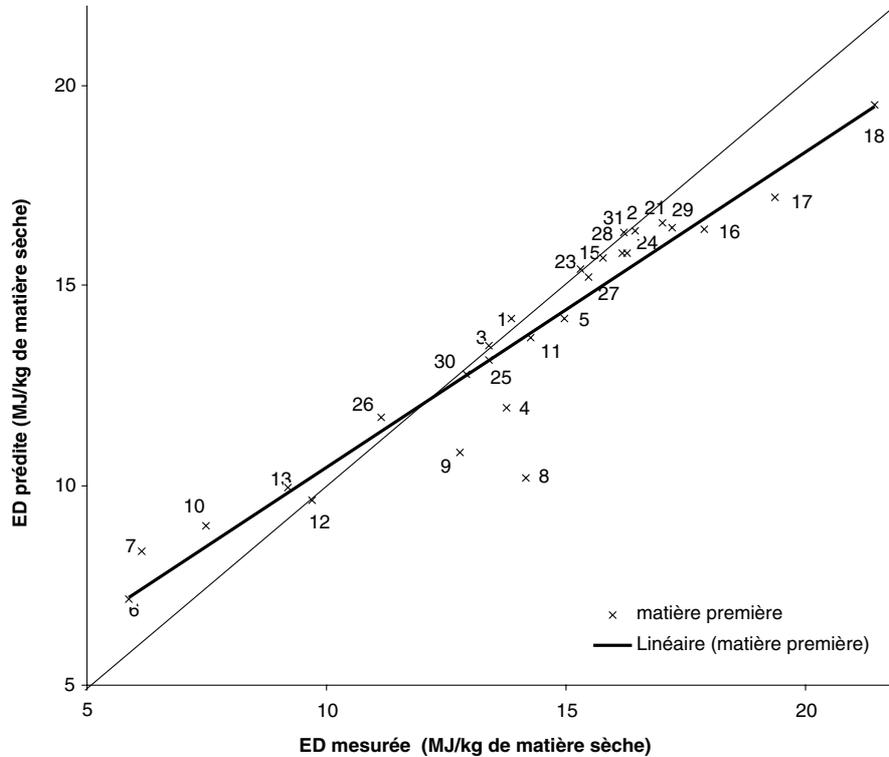
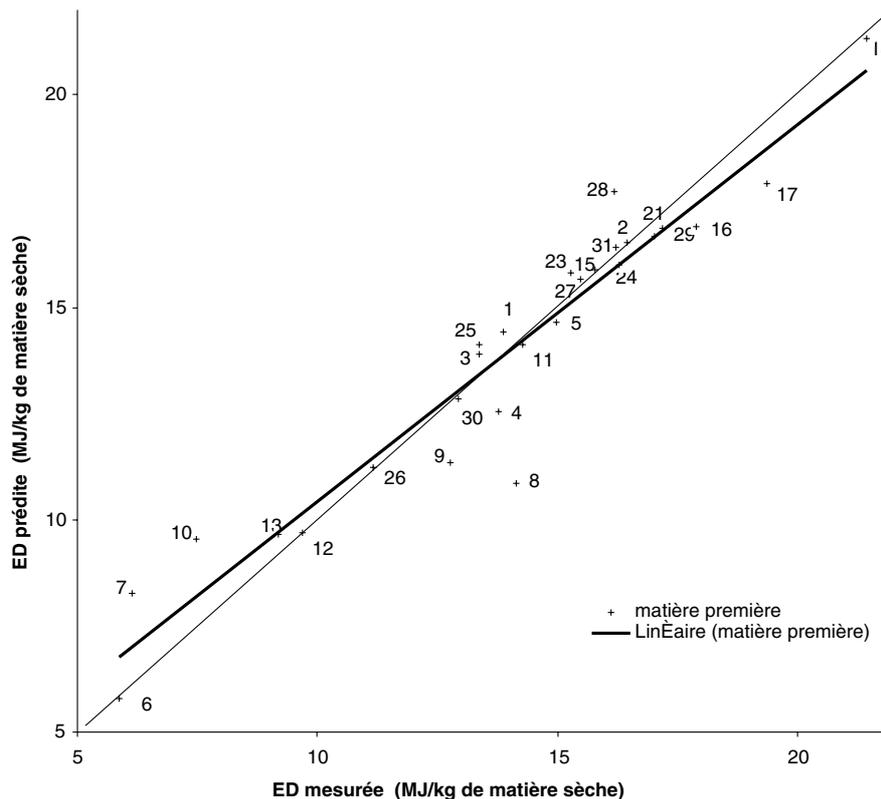


Figure 2 - Relation entre la valeur ED estimée des matières premières pour les truies adultes (à partir de l'équation 23 du tableau 6, p 217) et la valeur ED mesurée chez les truies (résultats non publiés ; voir le tableau 1, p 213 pour l'identification des matières premières)



2/ écart de teneur en ED entre le porc en croissance et la truie adulte nettement plus élevé que l'écart moyen prédit à partir de l'étude (cas des co-produits du soja ou du maïs et des coques de lupin).

Dans le premier cas, la fraction coque des graines est hautement lignifiée et par conséquent très résistante à la dégradation dans le tube digestif et ce, quelque soit le stade physiologique. Dans le second cas, l'utilisation des produits du soja ou du maïs et des coques de lupin peut être restreinte chez l'animal en croissance en relation avec la composition des matières premières en polysaccharides. Mais, l'augmentation du temps de rétention des digesta dans le gros intestin chez l'animal adulte rend la fraction fibre plus disponible pour la fermentation, favorisant ainsi l'amélioration de la digestibilité des produits (NOBLET et BACH KNUDSEN, 1997). Il faut toutefois remarquer que la validité des équations 23 à 26 est satisfaisante pour notamment le blé, l'orge et leurs co-produits.

2.4. Conséquences pratiques

Les résultats du présent travail ont des répercussions pratiques non négligeables au niveau de la formulation à moindre coût puisque la valeur énergétique de l'aliment est fonction du type d'animal qui l'ingère. En particulier, nos résultats mettent en évidence que l'adoption des valeurs énergétiques des tables – plutôt applicables au porc en croissance – conduit à une sous-estimation pour la truie adulte. D'autre part, une étude conduite chez des truies gestantes a montré que l'utilisation digestive de l'énergie est constante lorsqu'elles reçoivent 2,4, 2,9 ou 3,4 kg d'aliment par jour. De plus, l'utilisation digestive de l'énergie chez la truie allaitante et chez la truie gestante sont comparables malgré les différences importantes de niveau alimentaire (J. NOBLET, résultats non publiés). Ainsi, les valeurs énergétiques obtenues chez la truie adulte dans les conditions de notre étude sont applicables quelque soit le stade physiologique de la truie (gestante ou allaitante). D'un point de vue pratique, les deux situations modèles choisies dans notre étude (porc en croissance de 60-65 kg et truie adulte) permettent de déterminer des valeurs énergétiques pour la très grande majorité des aliments utilisés en production porcine. La seule situation non considérée est celle du porcelet pour laquelle l'argument coût de l'énergie alimentaire est atténué au profit des arguments d'ordre sanitaire et d'appétence. De plus, les résultats de (VAN CAUWENBERGHE et al., 1997) et des données de J. NOBLET (non publié) laissent penser que l'éventuel écart

entre le porcelet et le porc en croissance est beaucoup plus faible que celui mesuré dans la présente étude entre le porc en croissance et la truie adulte.

Nos résultats ont également permis de vérifier l'applicabilité des équations proposées à différents produits. Toutefois, l'équation de prédiction de la teneur en ED des aliments chez la truie adulte à partir uniquement de la teneur en ED obtenue chez le porc en croissance (équation 22) n'est applicable qu'aux aliments à faible teneur en matières grasses. Le biais important qui serait observé lors de son application à par exemple des graines de soja ou de tournesol est illustré à la figure 1. En revanche, les équations 23 à 26 tout comme des corrections moyennes en fonction des taux de parois végétales (voir paragraphe 2.2) sont applicables à tous les types d'aliment (figure 2). Toutefois, aucune des équations établies sur les régimes de notre étude ne peut prendre en compte les effets spécifiques de la nature des parois végétales avec, pour des groupes de matières premières, des biais importants. Dans ce cas, des équations spécifiques à ces familles de matières premières, comme celles proposées par NOBLET et LE GOFF (2000) pour le blé ou le maïs, doivent être appliquées. Le tableau 7 rapporte des équations spécifiques au blé, au maïs et au soja et leurs co-produits.

Enfin, l'estimation de la valeur énergétique des aliments a été basée sur leur teneur en ED dans la présente étude. Une méthode non complètement décrite a été proposée pour estimer la teneur en EM chez la truie. Cependant, l'estimation de la valeur énergétique "vraie" d'un aliment est plus précise lorsqu'elle tient compte de l'utilisation métabolique de l'EM, autrement dit sur la base de sa teneur en énergie nette (EN). Des études sont en cours pour mieux préciser les pertes d'énergie sous forme de méthane et de chaleur en relation avec le stade physiologique et la composition de l'aliment. Mais il est déjà établi que les équations de prédiction de la teneur en EN à partir des éléments digestibles ou de la teneur en ED qui ont été obtenues chez le porc en croissance sont applicables chez la truie adulte (NOBLET et al., 1994). La combinaison de ce résultat et des équations de prédiction de la teneur en ED ou en éléments digestibles chez la truie adulte proposées dans la présente étude permettent alors de recommander l'utilisation du système EN également chez la truie adulte, mais avec des prédicteurs (teneurs en ED ou en éléments digestibles) spécifiques à la truie.

Tableau 7 - Relation entre la teneur en énergie digestible (MJ par kg de matière sèche) chez la truie adulte (EDt) et la teneur en énergie digestible chez le porc en croissance (EDc) pour le blé, le maïs, le soja et leur co-produits (1)

N°	Produit (2)	Équation	ETR
27	Blé (n=9)	$EDt = 2,68 + 0,860 \times EDc$	0,37
28	Maïs (n=10)	$EDt = 8,59 + 0,493 \times EDc$	0,42
29		$EDt = 17,43 - 0,892 \times EDc + 0,0527 \times EDc^2$	0,31
30	Soja (n=7)	$EDt = 7,31 + 0,615 \times EDc$	0,31

(1) Voir notes du tableau 4 pour la signification des sigles

(2) Équations adaptées de Noblet et Le Goff (2000) et données non publiées; entre parenthèses, le nombre de produits mesurés pour établir l'équation; l'équation pour le maïs ne s'applique pas au tourteau de germes de maïs et l'équation pour le soja ne s'applique pas à la graine de soja

CONCLUSION

Les résultats du présent travail confirment que la digestibilité de l'énergie des régimes est plus élevée chez la truie adulte que chez le porc en croissance. Toutefois, l'amplitude de l'écart est plus faible que dans des études antérieures. La différence de digestibilité entre les deux stades physiologiques est d'autant plus importante que la teneur en parois végétales est élevée dans les aliments. Ce résultat s'explique principalement par la capacité accrue de la truie adulte à utiliser la fraction parois végétales de l'aliment, notamment grâce à l'augmentation de l'intensité des fermentations au niveau du gros intestin. Il s'ensuit que pour estimer la valeur énergétique d'un aliment, il faut non seulement prendre en compte les critères analytiques de l'aliment mais également les interactions entre la composition chimique de l'aliment et le stade

physiologique de l'animal. Les résultats ont permis d'établir des équations de prédiction de la valeur énergétique de l'aliment chez la truie à partir de la valeur obtenue chez le porc en croissance. Mais les relations présentées qui ont été obtenues sur des régimes conduisent à des biais pour certaines matières premières. Dans ce cas, la précision de la prédiction sera améliorée en utilisant des équations spécifiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les partenaires du Groupement pour l'Encouragement à la Recherche en Nutrition Animale (GERNA) qui ont contribué, notamment par leur aide financière, à la réalisation des essais dont les résultats sont rapportés dans la présente étude ainsi qu'à la thèse de Gwénola LE GOFF.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC, 1990. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- CARRÉ B., BRILLOUET J.-M., 1986. *J. Sci. Food Agric.*, 37, 341-351.
- DIERICK N.A., VERVAEKE I.J., DECUYPERE J.A., HENDERICKX H.K., 1990. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 63, 220-235.
- FERNANDEZ J.A., JØRGENSEN H., JUST A., 1986. *Anim. Prod.*, 43, 127-132.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA Ed, Paris, 106 pp.
- NOBLET J., PÉREZ J.M., 1993. *J. Anim. Sci.*, 71, 3389-3398.
- NOBLET J., SHI X.S., 1993a. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 137-152.
- NOBLET J., SHI X.S., 1993b. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 237-252.
- NOBLET J., SHI X.S., KAREGE C., DUBOIS S., 1993. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 165-180.
- NOBLET J., SHI X.S., FORTUNE H., et al., 1994. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 235-250.
- NOBLET J., 1996. In : "Recent advances in animal nutrition". 207-231. Nottingham University Press, Nottingham, pp. 207-231.
- NOBLET J., BACH KNUDSEN K.E., 1997. In : "Digestive physiology in pigs". 571-574.
- NOBLET J., BOURDON D., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 221-226.
- NOBLET J., MANCUSO M., BOURDON D., VAN BARNEVELD R.J., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 239-243.
- NOBLET J., LE GOFF G., 2000. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 177-183.
- RAMONET Y., Van MILGEN J., DOURMAD J.Y., et al., 2000. *Br. J. Nutr.*, 84, 85-94.
- SAS, 1990. SAS/STAT, User's Guide (Release 6.07) SAS Inst. Inc. Cary, NC.,
- VAN CAUWENBERGHE S., JONDREVILLE C., BEAUX M.F., et al., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 205-212.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967. *Journal of the AOAC*, 50, 50-55.